

# Aplicaciones Paralelas de Cómputo Intensivo en NOW Heterogéneas

Fernando G. Tinetti<sup>1</sup>

CeTAD<sup>2</sup> – LIDI<sup>3</sup>

Universidad Nacional de La Plata

La Plata

Buenos Aires

Argentina

E-mail: fernando@ada.info.unlp.edu.ar

A medida que ha crecido la disponibilidad de computadoras con una buena relación costo/rendimiento, también ha crecido el interés por su utilización en aplicaciones de cómputo intensivo. Normalmente, estas aplicaciones se han desarrollado sobre las denominadas *supercomputadoras*, la mayoría de las cuales han hecho uso de la paralelización del cómputo a nivel del hardware (*pipelines*) y a nivel del software (por medio de programas paralelos). El problema más difícil de solucionar en el ámbito de las supercomputadoras ha sido tradicionalmente el de su alto costo, que no varía a pesar de los avances tecnológicos y de la ampliación de los usuarios de las aplicaciones.

Dado el bajo costo con respecto al rendimiento que ofrecen las estaciones de trabajo (*workstations*) y la posibilidad de interconectarlas en una LAN, es posible pensar en varias de estas estaciones de trabajo cooperando para resolver un problema. Esta primera aproximación (desde el punto de vista de la complejidad) a la resolución de los problemas de cómputo intensivo se ha denominado cómputo paralelo sobre NOW (Network Of Workstations) o Workstation Cluster. La idea puede extenderse a la utilización de más de una red local interconectada, lo único que varía en este caso es la conexión física entre las computadoras de las distintas redes locales.

A medida que se ha avanzado en la dirección de las NOW, se han propuesto diferentes ambientes de software que proporcionan de una u otra forma la visión de una computadora paralela construida a partir de estaciones de trabajo interconectadas [3] [6] [7].

Desde el punto de vista de la *construcción* de una máquina paralela sobre la base de estaciones de trabajo interconectadas, lo inicial sería la puesta en marcha de una NOW con un tipo de computadora en particular y una interconexión en particular. Esto a su vez reduce el costo de instalación del software necesario y el mantenimiento de hardware y software, aprovechando la homogeneidad [8].

Siguiendo el objetivo de reducir aún más el costo, como así también aumentar la disponibilidad de computadoras paralelas, en una de las líneas de investigación se avanza hacia la utilización de las estaciones de trabajo ya instaladas así como también al aprovechamiento no sólo de la interconexión en redes locales sino también de la interconexión entre las computadoras provista por (y ya instalada para) internet. En este sentido, se aumenta en cierto modo la complejidad de la instalación del software necesario, pero se reduce el costo de instalación del hardware. De esta manera, se llega a tener una computadora paralela de costo mínimo en base a NOW (redes de estaciones de trabajo) heterogéneas.

---

<sup>1</sup> Prof. Adjunto UNLP, Becario de Doctorado FOMEC

<sup>2</sup> Centro de Técnicas Analógico-Digitales, Dto. Electrotecnia, Fac. de Ingeniería, UNLP

<sup>3</sup> Lab. de Inv. y Des. en Informática, Dto. Informática, Fac. Ciencias Exactas, UNLP

Los problemas que se encuentran en el ámbito del cómputo paralelo en NOW heterogéneas se pueden dividir en varias clases:

- Relacionados con el hardware.
- Relacionados con la utilización de las estaciones de trabajo.
- Relacionados con la paralelización de aplicaciones.
- Relacionados con la caracterización del rendimiento/beneficio.

Los problemas relacionados con el hardware están básicamente resueltos por los protocolos estándares de comunicación tales como TCP/IP junto con ambientes como PVM y MPI que se encargan de evitar que la heterogeneidad llegue a ser visible desde los programas paralelos. De todas maneras, es necesario tener en cuenta en algunos casos las consecuencias de la heterogeneidad en el ámbito numérico [2].

En cuanto a la utilización, en general se acepta que la mayoría del tiempo las estaciones de trabajo permanecen sin procesamiento útil para ejecutar. Esto no significa que las computadoras siempre estén disponibles, aunque hay períodos en los cuales se puede considerar una disponibilidad completa de las estaciones de trabajo.

Los problemas relacionados a la paralelización de aplicaciones se refieren esencialmente a las distintas capacidades de las estaciones de trabajo y, más específicamente, a las distintas velocidades relativas y las distintas formas de interconexión. Aún con modelos de estaciones de trabajo similares (con un mismo tipo de procesadores) las velocidades relativas dependen de factores tales como: ciclo de reloj, tamaño/s de memoria/s cache/s, etc. Esto afecta directamente la forma en que se asigna la carga de trabajo. Sin embargo, considerando la posibilidad de interconexión de las estaciones de trabajo distribuidas en más de una LAN, la heterogeneidad necesariamente se traslada a los distintos tiempos de comunicación de datos entre las computadoras.

La caracterización del rendimiento de las computadoras (paralelas) ha sido tradicionalmente motivo de controversia [1] [4]. En el campo de las redes de estaciones de trabajo heterogéneas, la situación no es mejor [9]. La mayoría de las propuestas de caracterización sigue con los índices de rendimiento estándares agregando la adaptación que se considera necesaria para contemplar las características de las NOW.

La paralelización de aplicaciones y la caracterización del rendimiento están fuertemente ligadas dado que el beneficio o perjuicio que se obtiene utilizando una máquina paralela (en este caso una NOW) se cuantifica en función de los índices de rendimiento que se utilizan. Si los índices de rendimiento son correctos (no ocultan información), el “mejor” programa paralelo dará la justificación para utilizar o no una red de estaciones de trabajo para resolver un problema.

Los índices de rendimiento para caracterizar una NOW están basados en las nociones de factor de *speed up* y MFLOPS (Millones de operaciones de punto flotante por segundo). Esta segunda medida es particularmente útil en el área de los problemas de cómputo intensivo (cálculo numérico).

Para la caracterización del factor de *speed up*, se sigue la idea inicial proveniente de las computadoras paralelas homogéneas

$$sphom(app) = ts(app) / tp(app, N) \quad (1)$$

donde  $sphom(app)$  indica el factor de *speed up* definido como la relación entre el tiempo de ejecución para la resolución de una aplicación con el mejor algoritmo secuencial sobre una computadora monoprocesador,  $ts(app)$ , con respecto al tiempo de ejecución que se necesita para resolver la misma aplicación sobre una computadora paralela homogénea con  $N$  procesadores,  $tp(app, N)$ .

La extensión de este índice a las NOW heterogéneas está dada por

$$sp(app) = \min_{i=1}^N (t(app, ws_i)) / t(app, now) \quad (2)$$

donde  $sp(app)$  indica el factor de speed up definido como la relación entre el menor tiempo de ejecución dado por las estaciones de trabajo ( $ws_1, \dots, ws_N$ ) para la resolución de una aplicación con el mejor algoritmo secuencial,  $\min_{i=1}^N (t(app, ws_i))$ , con respecto al tiempo de ejecución necesario para resolver la misma aplicación sobre la red de estaciones de trabajo,  $t(app, now)$ .

Con respecto a los MFLOPS, se presenta en este artículo una pequeña modificación para su cálculo, dando prioridad al rendimiento de la computadora paralela sobre la utilización de los procesadores (estaciones de trabajo). Por lo tanto, los MFLOPS (para la resolución de una aplicación) de una computadora en particular,  $MFLOPS(comp)$ , se calculan como

$$MFLOPS(comp) = \#fpo(app) / t(app, comp) \quad (3)$$

donde  $\#fpo(app)$  representa la cantidad de operaciones de punto flotante necesarias para resolver la aplicación independientemente de la implementación (paralela o no) y  $t(app, comp)$  mantiene la definición anterior.

Dado que el objetivo es la utilización de una NOW ya instalada consistente de varias redes locales interconectadas para tráfico de internet, es necesaria una cuantificación del beneficio en cuanto al rendimiento de la computadora paralela. Para esto, se han utilizado tradicionalmente programas especialmente elegidos, conocidos como *benchmarks* [5].

Como tema de investigación incluido en el área de la caracterización del rendimiento, se presenta el benchmark que quizás sea el más aceptado y estudiado entre todos los propuestos: la multiplicación de matrices. Con respecto a este benchmark, se ha experimentado sobre un conjunto de estaciones de trabajo heterogéneas incluyendo Sun, DEC Alpha y PCs interconectadas en dos redes de área local (subredes internet B), que cooperan para la resolución de la multiplicación. Lo importante en este caso no es el benchmark en sí mismo, sino el impacto de la heterogeneidad de las estaciones de trabajo y de su interconexión sobre el rendimiento.

## Referencias

- [1] Bailey D. H., "Twelve Ways to Fool the Masses When Giving Performance Results on Parallel Computers", RNR Technical Report RNR-91-020, June 11, 1991. Disponible en <http://unix.hensa.ac.uk/parallel/papers/surveys/>
- [2] Blackford L., Cleary A., Demmel J., Dhillon I., Dongarra J., Hammarling S., Petitet A., Ren H., Stanley K., Whaley R., "LAPACK Working Note 112: Practical Experience in the Dangers of Heterogeneous Computing", UT, CS-96-334, 1996. Disponible en <http://www.hensa.ac.uk/mirrors/lawns/index.html>
- [3] Dongarra J., A. Geist, R. Manchek, V. Sunderam, "Integrated pvm framework supports heterogeneous network computing", Computers in Physics, (7)2, pp. 166-175, April 1993.
- [4] Hennessy J. L., D. A. Patterson, Computer Architecture. A Quantitative Approach, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1996.
- [5] Hockney R. and M. Berry (eds.), "Public International Benchmarks for Parallel Computers", Scientific Programming 3(2), pp. 101-146, 1994.
- [6] MPI Forum, "MPI: a message-passing interface standard", International Journal of Supercomputer Application, 8 (3/4), pp. 165-416, 1994.
- [7] Turcotte L., "A survey of Software Environments for Exploiting Networked Computing Resources", Engineering Research Center for Computational Field Simulation, Mississippi, 1993.
- [8] Warren M. S., T. C. Germann, P. S. Lomdahl, D. M. Beazley, J. K. Salmon, "Avalon: An Alpha/Linux Cluster Achieves 10 Gflops for \$150k". Available at [http://cnls.lanl.gov/avalon/avalon\\_bell98/](http://cnls.lanl.gov/avalon/avalon_bell98/) Submitted for the 1998 Gordon Bell Price/Performance Prize.
- [9] Zhang X., Y. Yan, "Modeling and characterizing parallel computing performance on heterogeneous NOW", Proceedings of the Seventh IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing (SPDP'95), IEEE Computer Society Press, San Antonio, Texas, October 1995, pp. 25-34